

Eine fortschrittliche GFK-Fertigungstechnik setzt sich durch: Praxiserfahrungen mit dem Vakuum-Injektions-Verfahren

von Dr. Jens-Peter Schik und Reinhold Sieberg,
Anwendungstechnische Abteilung Kunstharze IV, Werk Hamburg

BEST AVAILABLE COPY

Die stellte Hoechst mit dem Vakuum-Injektions-Verfahren eine neue Fertigungstechnik für die rationelle, umweltfreundliche Herstellung großflächiger GFK-Teile vor. Dieser Bericht enthält Praxiserfahrungen, die seit der Einführung dieses Verfahrens gesammelt wurden. Dies trifft vor allem den Formenbau, den Verfahrensablauf, die Wirtschaftlichkeit sowie einige Umweltaspekte. In einer Reihe neuer Anwendungsbeispiele wird gezeigt, daß die Hauptziele erreicht werden konnten. Zwischen wurden Formteile mit einer Oberflächegröße von 70 m² und einem K-Gewicht von 900 kg hergestellt.

1. Allgemeine Verfahrenshinweise

Das Grundprinzip des seit 1974 praktizierten Vakuum-Injektions-Verfahrens hat seinen Ursprung im Vakuum- bzw. im Injektions-Verfahren. Beide Technologien haben auch heute noch ihren Platz in den Produktionsbetrieben. Bei der Herstellung großflächiger Formteile sind jedoch Grenzen gesetzt. Grundprobleme beider Verfahren sind das Auftreten von Lufteinschlüssen sowie die schlechte Realisierbarkeit langer Fließwege.

Durch die Kombination beider Techniken zum Vakuum-Injektions-Verfahren wurden diese Nachteile beseitigt. Es zeigte sich, daß dieses Verfahren besonders für die Fertigung großflächiger Formteile gegenüber den bisher bekannten Verarbeitungsmethoden wesentliche Vorteile aufweist (Abbildung 1).

Eine ausführliche Darstellung des Verfahrensprinzips wurde bereits im Heft 7 der Kunstharz-Nachrichten gebracht. Zum schnelleren Verständnis der folgenden Abschnitte zunächst noch einmal ein kurzer Abriss:

Über einen Vakuumschließkanal wird die mit Textilglasmaterial beschickte Form mittels einer Vakuumpumpe absolut luftdicht geschlossen. Die für die Tränkung des Verstärkungsmaterials notwendige

Reaktionsharzmasse, meist katalysiertes UP-Harz, wird in den Formfüllraum injiziert – je nach Form und

Höherer Qualitätsstandard

- Luftblasenfreie Teile herstellbar,
- beidseitig glatte Oberflächen,
- Hinterschnidungen möglich

Höhere Wirtschaftlichkeit

- erhebliche Zeiteinsparungen,
- geringe Lohnintensität,
- geringe Investitionen,
- Herstellung von Sandwichteilen in einem Arbeitsgang,
- fließbandähnliche Arbeitsweise,
- für mittlere Serien geeignet

Geringere Umweltbelastung

- keine Umweltbelastung durch Styroldämpfe

Bessere Arbeitsbedingungen

- keine direkte Berührung mit Kunstharz und Reaktionsmitteln, Arbeitsplatzkonzentration von Styroldämpfen weit unterhalb des zulässigen MAK-Wertes

ABBILDUNG 1 Welche Vorteile sprechen für das Vakuum-Injektions-Verfahren?

Größe des Fertigteiltes über einen oder mehrere Injektionsstutzen. Nach dem Einlaufen der gesamten Harzmenge wird die Zufuhrleitung geschlossen und im Harzansaugkanal ein geringer Unterdruck erzeugt. Dabei wird die restliche Luft aus der Form gesaugt und das Ver-

stärkungsmaterial luftblasenfrei mit dem Harz getränkt und verdichtet. Bis zur Härtung des Formteils muß das Vakuum bestehen bleiben. Damit das Verfahren aber sinnvoll, rationell und technisch richtig eingesetzt wird, sind vorher konstruktive und wirtschaftliche Überlegun-

gen anzustellen; denn mit diesem Verfahren sollen nicht Techniken ersetzt werden, die für bestimmte Praxisfälle besser geeignet sind.

2. Verfahrensablauf

Am Beispiel eines Bootskörpers, der in unserer Anwendungstechnischen Abteilung für Versuchsarbeiten gefertigt wird, ist der Verfahrensablauf, besonders in zeitlicher Hinsicht, gut erkennbar (Abbildungen 2 bis 8).

Wie bei allen GFK-Verarbeitungsmethoden sind auch bei dieser Technik vorbereitende Arbeiten erforderlich. Dazu gehören das Säubern beider Formhälften sowie das Auftragen der Trennmittel. Auf die so vorbereitete Form kann dann eine Feinschicht aufgetragen werden (bei diesem Beispiel nicht der Fall).

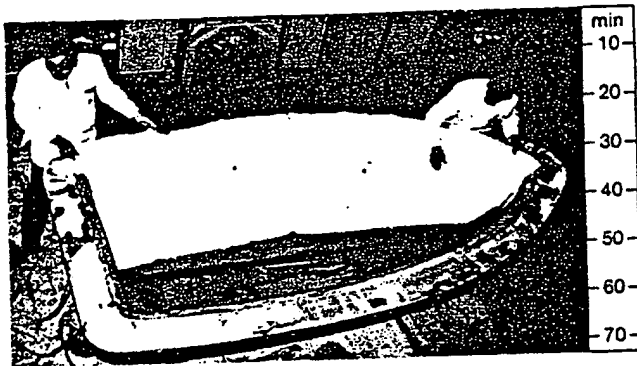


ABBILDUNG 2 Einlegen des Verstärkungsmaterials

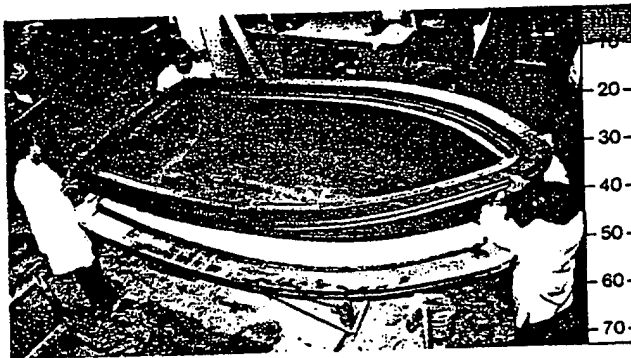


ABBILDUNG 3 Auflagen der Oberform

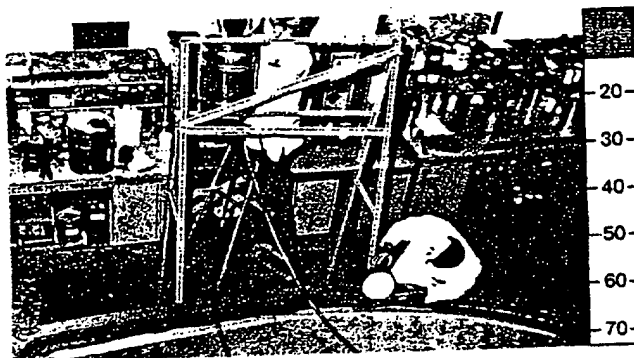


ABBILDUNG 4 Einfüllen des Reaktionsharzgemisches

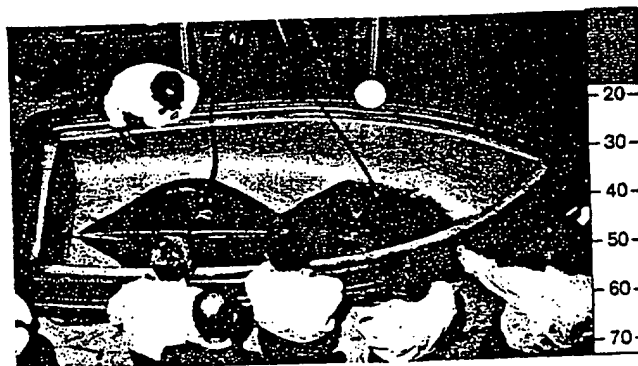


ABBILDUNG 5 Injektionsvorgang

ABBILDUN-
GEN 2-8
Der Verfahrens-
und Zeitablauf,
demonstriert
an einem
Bootskörper

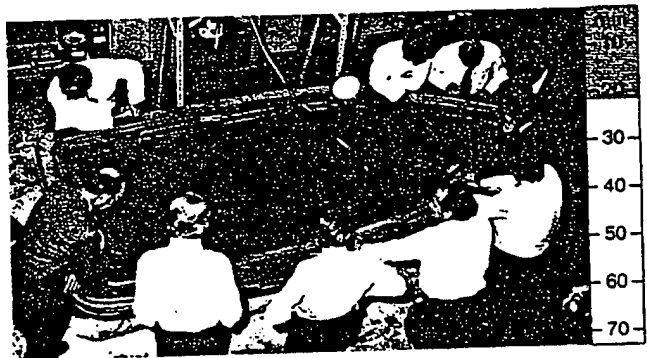


ABBILDUNG 6 Das Laminat ist getränkt und verdichtet

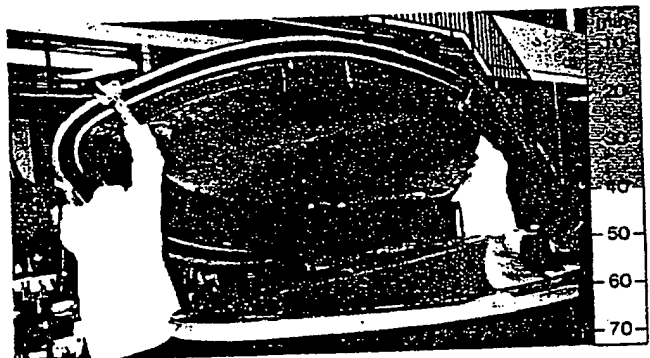


ABBILDUNG 7 Nach der Aushärtungszeit wird entformt

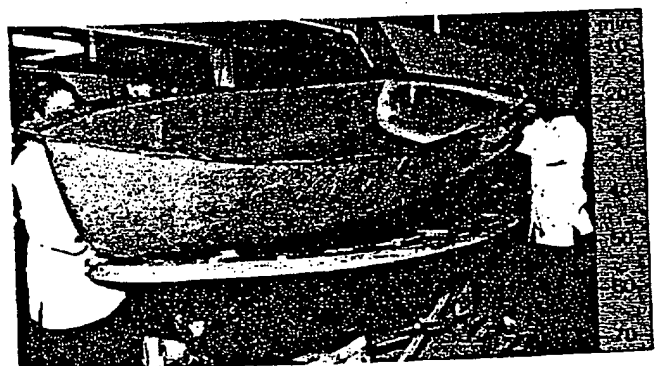


ABBILDUNG 8 Der Bootsrumpf verläßt die Unterform

Die Unterform wird dann mit dem gesamten Verstärkungsmaterial ausgelegt und mit der Oberform geschlossen (Abbildungen 2 und 3). Die beiden Formhälften werden im Bereich des umlaufenden Vakuum-Schließkanals durch Anlegen von Vakuum luftdicht miteinander verbunden.

Das Tränkharz wird nun mit den Reaktionsmitteln gemischt und in den Harzvorratsbehälter gefüllt (Abbildung 4). Die nachfolgende Injektion der Harzmischung (Abbildung 5) dauert ca. 5 Minuten; danach wird die Harzzufuhrleitung geschlossen. Die weitere Verteilung, Tränkung und Verdichtung der Textilglasverstärkung erfolgt durch Anlegen eines geringen Unterdruckes von 800 mbar absolut (Abbildung 6).

Der gesamte Zeitaufwand mit Formvorbereitung beträgt bis zu diesem Punkt ca. 40 Minuten. Schließt man die folgende Gelierungszeit, das Erreichen der Spitztemperatur und die Entformung mit ein, so ergibt sich bei Addition aller Zeiten für diesen Bootskörper eine Formbelegungszeit von 90–100 Minuten. Da einige Arbeitsgänge selbsttätig ablaufen, muß nicht während der gesamten Zeit eine Arbeitskraft zur Verfügung stehen.

Wichtig ist noch, daß das angelegte Vakuum bis zur völligen Aushärtung des Formteils bestehen bleibt. Der Bootsrumpf kann dann nach Abklingen der Wärmetönung entformt werden (Abbildungen 7 und 8).

2.1 Verfahrensvarianten

Für die Vakuum-Injektions-Technik gibt es drei verschiedene Verfahrensvarianten, die ein breites Einsatzspektrum ermöglichen:

1. die Injektion von der Mitte her, wie soeben am Beispiel der Fertigung eines Bootskörpers erklärt. Sie wird am häufigsten verwendet (Abbildung 9),
2. speziell für Formteile mit beidseitiger Feinschicht und/oder schwieriger Formgebung die einseitige Injektion und Tränkung quer durch das Formteil (Abbildung 10),
3. die Tränkung über einen Injektionskanal mit einer zentralen Absaugung (Abbildung 11).

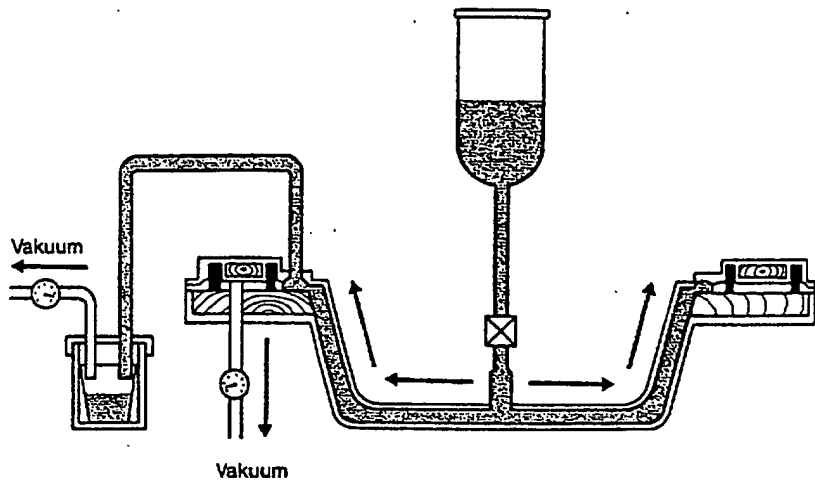


ABBILDUNG 9 Injektion zentral, Absaugung umlaufend

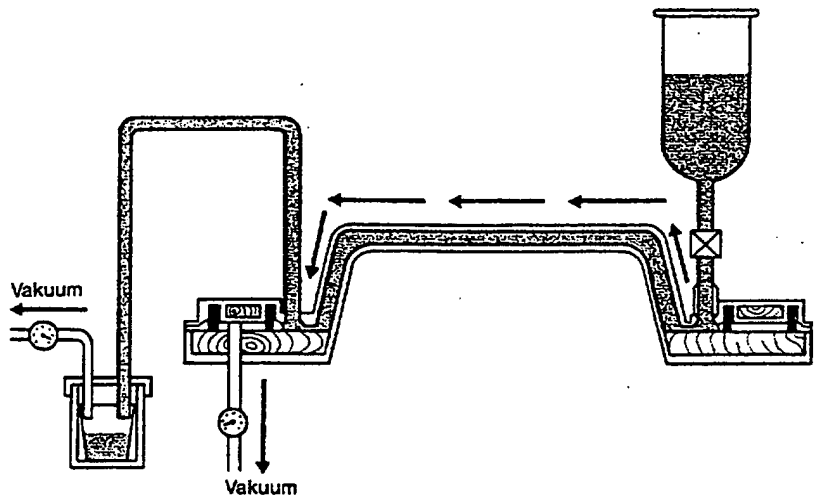


ABBILDUNG 10 Injektion einseitig, Absaugung einseitig

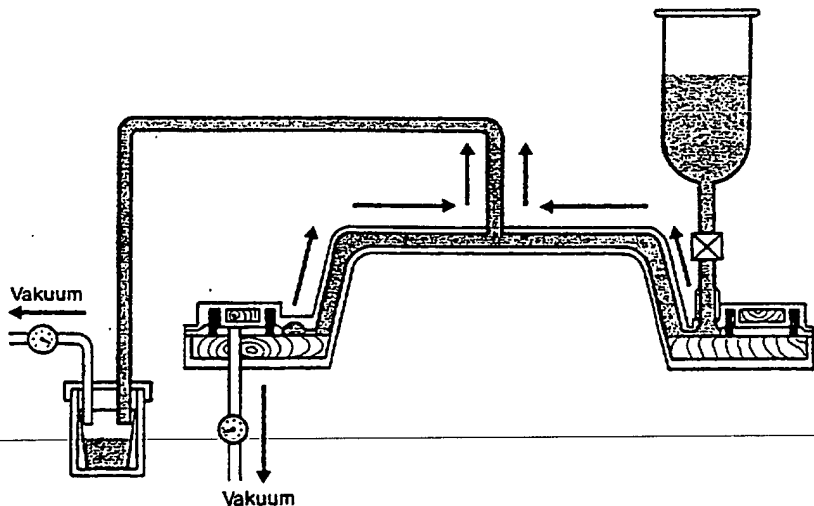


ABBILDUNG 11 Injektion umlaufend, Absaugung zentral

3. Formenbau

Es hat sich in der Vergangenheit wiederholt gezeigt, daß der Formenbau die größte Bedeutung für die Funktion des Verfahrens hat. Hier haben sich GFK, Aluminium und Edelstahl am besten bewährt. Die Auswahl der einzelnen Formenbaumaterialien richtet sich nach der Größe und Gestaltung des Formteils sowie der gewünschten Stückzahl. Metallformen sind zumeist bei großen Laminatstärken angebracht, weil hier eine stärkere Wärmeentwicklung zu erwarten ist.

Ausgehend von einer GFK-Form kann gesagt werden, daß für die Unterform in den meisten Fällen eine Laminatstärke von ca. 8 mm genügt. Größere Wandstärken sind nicht erforderlich, da die Form keine großen Kräfte aufnehmen muß. Die Feinschicht sollte eingefärbt werden.

Die Oberform hingegen soll im formgebenden Bereich eine Wandstärke von 4–6 mm aufweisen. Hier muß mit einer transparenten Feinschicht gearbeitet werden, da hierdurch beim Arbeitsablauf die Lage des Verstärkungsmaterials und der Harzfluß beobachtet werden kann. Diese Möglichkeit vereinfacht beim Einfahren der Form nachträgliche Korrekturen und die Optimierung der Glasfaserzuschnitte.

Im Bereich des umlaufenden, etwa 200 mm breiten Formrandes ist bei Unter- und Oberform eine absolut starre Formgebung erforderlich. Hierdurch wird die exakte Abdichtung im Bereich des Vakuum-Schließkanals erreicht. Ferner wird das fertigende Formteil maßlich genau fixiert.

Außerdem liegen in diesem Bereich wesentliche Funktionselemente für die Verfahrenstechnik. Sie sind aus *Abbildung 12* erkennbar: der Vakuum-Schließkanal mit einer Breite von ca. 60–80 mm (1) und (2), der Ansaugkanal (3), der je nach Verfahrensvariante auch als Injektionskanal eingesetzt wird, weiter zwischen (3) und (4) die Schließkante, die in Form einer Nullpresung von ca. 10 mm Breite ausgeführt wird. Eine bei (4) erkennbare Formteilverlängerung ist als Hantierspielraum für das Einlegen der Textilglasverstärkung gedacht.

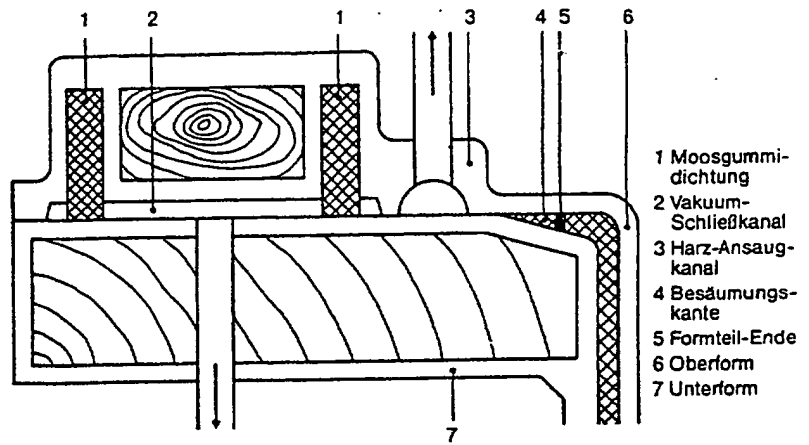


ABBILDUNG 12 Formrandgestaltung für eine Vakuum-Injektions-Form

3.1 Formenzubehör

Zur Komplettierung der Form gehören ferner noch einige Stützen im Bereich des Vakuum-Schließ- und Harzansaugkanals sowie, je nach Verfahrensvariante, ein oder mehrere Einlaufstutzen.

Neben der Form sind für diese Technik eine Vakuum-Pumpe mit Feinregulierung und ein Harzvorratsbehälter erforderlich; außerdem ein Behälter für die Aufnahme des überschüssigen UP-Harzes. Er sollte so groß gewählt werden, daß er etwa 5% der formteilbezogenen Harzmenge aufnehmen kann.

Für die Injektion des Harzes hat sich in der Praxis ein offener, erhöht aufgebauter Behälter bewährt. Der dadurch gegebene statische Druck ist für die Verfahrenstechnik optimal.

4. Konstruktionsmerkmale

Bei den meisten der bisher im Vakuum-Injektions-Verfahren hergestellten Formteile hat sich gezeigt, daß bei GFK-gerechter Konstruktion keine wesentlichen Probleme entstehen. Es bleibt jedoch zu berücksichtigen, daß beim Vakuum-Injektions-Verfahren, wie bei den meisten geschlossenen Verfahren, das Verstärkungsmaterial trocken in die Form eingelegt wird, so daß insbesondere bei kleinen Radien die Glasverteilung nicht optimal ist und Harzanreicherungen entstehen können.

Nach unseren Erfahrungen sollte die Formschräge 5° nicht unter-

schreiten und die Radien nach Möglichkeit größer als 10 mm angelegt werden. Im übrigen erleichtern auch beim Vakuum-Injektions-Verfahren fließende Übergänge die Arbeit.

Weitere konstruktive Details werden im Zusammenhang mit den im Schlußabschnitt beschriebenen Anwendungsbeispielen gebracht (siehe Seite 18 und 19).

5. Verstärkungsmaterialien

5.1 Typen und Glasgehalte

Als Verstärkungsmaterialien werden zur Zeit überwiegend Textilglas-matten mit styrolunlöslichen Bindern eingesetzt. Sie haben G wicht von 450, 600 und 900 g/m² sowie eine Fadenlänge von ca. 50 mm. Außerdem werden schon Matten-qualitäten mit einer Fadenlänge bis zu 250 mm angeboten. Dan ben eignen sich sehr gut Endlosmatten und weiterhin Gewebe mit verschiedenen Flächengewichten. Je nach dem eingesetzten Textilglasmaterial werden unterschiedliche Glasanteile erreicht. Bei Verwendung von Endlosmatten liegt der Glasanteil bei 20–35%, Preßmatten ergeben 28 bis 33% und höhere Glasgehalte bis zu 50% lassen sich durch die Kombination mit Glasfilament- bzw. Komplex-Geweben erreichen. Um eine gute Oberflächenbeschaffenheit der Formteile zu erzielen, werden Oberflächenvliese oder -matten eingesetzt.

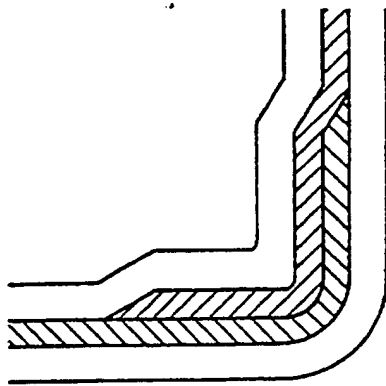


ABBILDUNG 13
Einlegetechnik bei Überlappungen

5.2 Einlegetechnik

Ein wesentlicher Punkt für die Funktion des Vakuum-Injektions-Verfahrens ist die Einlegetechnik. Das mittels Schablonen zugeschnittene Textilglasmaterial wird vor Beginn des eigentlichen Arbeitsablaufs bereitgestellt. Je nach Gestaltung des Formteils muß entschieden werden, ob das Textilglasmaterial auf die Unter- oder Oberform aufgelegt wird. Die Fixierung der einzelnen Lagen im Textilglaspaket kann z. B. durch Sprühkleber, durch mechanisches Verbinden mit metallischen Klammern oder durch Vernähen mit Textilglasrovings erfolgen.

Überlappungen, die sich bei den meisten Formteilen ergeben, müssen nach Möglichkeit in die von der Gestaltung her kritischen Bereiche gelegt werden (Abbildung 13). Hierdurch wird ein besseres Andrücken des Textilglases in Krümmungen, engen Radien usw. erreicht.

6. Harze und Reaktionsmittel

An die für dieses Verfahren zu verwendenden UP-Harze werden spezielle Anforderungen gestellt. Wesentliches Merkmal ist eine Viskosität von ca. 200 mPa · s bei 20 °C. Hoechst hat Alpolit-Harze entwickelt, die den Einsatz dieser Technik auf breiter Basis erlauben: Neben Standard-Produkten (Alpolit UP002) gibt es selbstverlöschende (Alpolit UP 404), chemikalienaunliche sowie wärmeformbeständige (Alpolit UP 346) Typen.

Außerdem steht eine Reihe von

Sonderprodukten für spezielle Anwendungen zur Verfügung.

Von der Peroxidpalette werden hauptsächlich Methyläthylketonperoxid, Cyclohexanonperoxid oder Acetylacetonperoxid, jeweils in Kombination mit einem Kobaltbeschleuniger verwendet. Wie auch von anderen Technologien her bekannt, lassen sich mit diesen Reaktionsmitteln Gelierungszeiten von wenigen Minuten bis zu vielen Stunden einstellen, je nach Art und Menge der Härter, Beschleuniger und gegebenenfalls Inhibitoren.

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Vakuum-Injektions-Verfahrens bietet sich vor allem der Vergleich mit dem Hand- und Faserspritzverfahren an. Viele Arbeitsgänge sind vom Zeitaufwand bei diesen Verfahren gleich. Hierzu zählen z. B. Vorbereitung von Harz, Härter und Beschleuniger, Beschneiden und Putzen der Formteile sowie das Eintragen der Feinschicht. Der Glaszuschnitt entfällt naturgemäß beim Faserspritzverfahren, ist jedoch bei den anderen Verfahren gleich.

Da beim Vakuum-Injektions-Verfahren mit doppelten Formhälften gearbeitet wird, ist der Zeitaufwand für das Eintragen der Trennmittel und das Säubern der Formen entsprechend größer. Außerdem muß beim Vakuum-Injektions-Verfahren mit etwa den 2 bis 2½fachen Kosten für den Formenbau gerechnet werden. Dafür ist der apparative Aufwand verhältnismäßig gering, da nur eine Vakuum-Pumpe mit einer Steuereinheit erforderlich ist. Die höchsten apparativen Kosten entstehen beim Faserspritzverfahren.

Der größte Kostenunterschied liegt im eigentlichen Arbeitsablauf. So werden beispielsweise für die Herstellung des im Abschnitt 2. erwähnten Bootes im Handverfahren 150 Minuten und im Faserspritzverfahren 90 Minuten für den Laminierungsvorgang benötigt. Die im übertragenen Sinne vergleichbaren Tätigkeiten beim Vakuum-Injektions-Verfahren, die zur Herstellung des Bootes gerechnet werden können, erfordern nur einen Zeitaufwand von 45 Minuten.

Erfahrungsgemäß ergeben sich die größten Kostenvorteile des Vakuum-Injektions-Verfahrens bei dickwandigen und großflächigen Formteilen. Eine endgültige Beurteilung der Wirtschaftlichkeit richtet sich letztlich nach den jeweiligen Bedingungen im Einzelfall.

Anhaltspunkt für die Wirtschaftlichkeit liefert auch ein prozentualer Vergleich, der aus einer Vielzahl gefertigter Formteile errechnet wurde und der alle anfallenden Kosten enthält. Legt man für das Handverfahren einen Wert von 100% an, so ergeben sich für das Faserspritzverfahren 90% und für das Vakuum-Injektions-Verfahren 70%.

Vorteile und Nachteile des Vakuum-Injektions-Verfahrens

Neben der rationellen und wirtschaftlichen Arbeitsweise kommen noch einige ganz entscheidende Punkte hinzu, die für die Leistungsfähigkeit eines Betriebes von großer Bedeutung sind:

- ☐ die Mitarbeiter können sehr schnell mit dieser Technik vertraut gemacht werden,
- ☐ die Arbeitsplatzbedingungen können verbessert werden,
- ☐ der oft lästige Styrolgeruch am Arbeitsplatz entfällt – außer beim Einbringen der Feinschicht. Die Styroldämpfe bleiben weit unterhalb des MAK-Wertes.

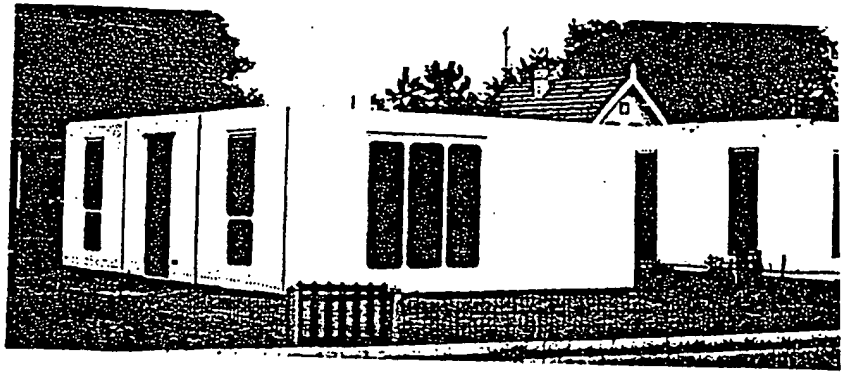
Es handelt sich also um eine absolut umweltfreundliche Arbeitsweise, mit der die Forderungen nach einer verschärften Gesetzgebung, die heute in der Bundesrepublik Deutschland und vielen anderen Ländern schon besteht, ohne besondere Maßnahmen zu erfüllen sind.

9. Anwendungsbeispiele

Im Heft 7/1974 der Kunstharz-Nachrichten wurde bereits grundsätzlich über das Vakuum-Injektions-Verfahren berichtet und zahlreiche Anwendungsbeispiele vorgestellt. In den letzten Jahren gingen weitere Verarbeiter zu diesem Verfahren über und konnten damit interessante GFK-Teile technisch besser, rationeller und umweltfreundlicher herstellen. Einige Beispiele zeigen die Abbildungen 14–22.

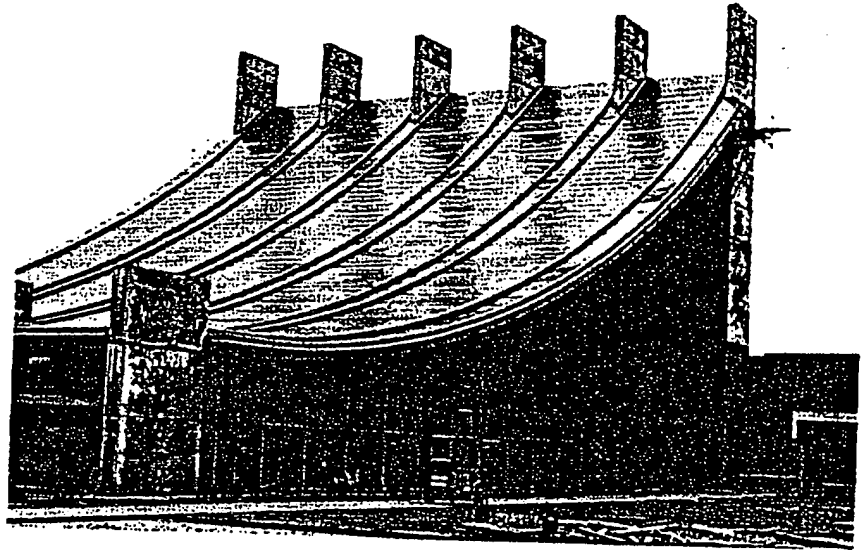
9.1 Ferienhaus in Segmentbauweise

In der Anfangsphase des Verfahrens ergaben sich insbesondere bei dünnwandigen Sandwichbauteilen – also Laminatstärken von 1–1,5 mm – Schwierigkeiten durch mikrofeine Lufteinschlüsse. Dieses Problem konnte inzwischen gelöst werden. Heute können derartige Formteile in großen Stückzahlen gefertigt werden. *Abbildung 14* zeigt ein Ferienhaus in Segmentbauweise. Es hat Elementabmessungen von 600 x 250 x 10 cm bei einer Laminatstärke von 2–2,5 mm.



9.2 Dachelemente

Die Dacheindeckung dieser Sport- und Mehrzweckhalle (*Abbildung 15*) besteht aus ca. 500 Einzelelementen, die an einer Stahlkonstruktion aufgehängt werden. Die Elementabmessung beträgt 6 x 0,8 Meter.

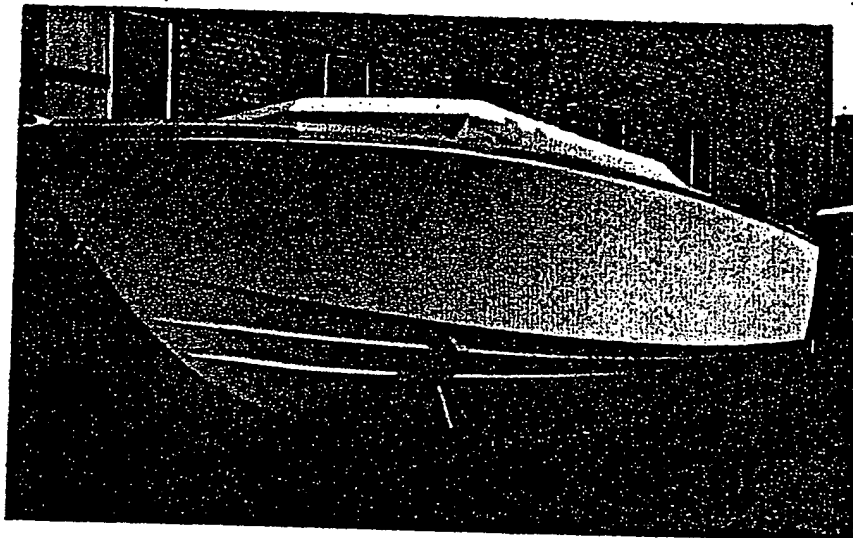


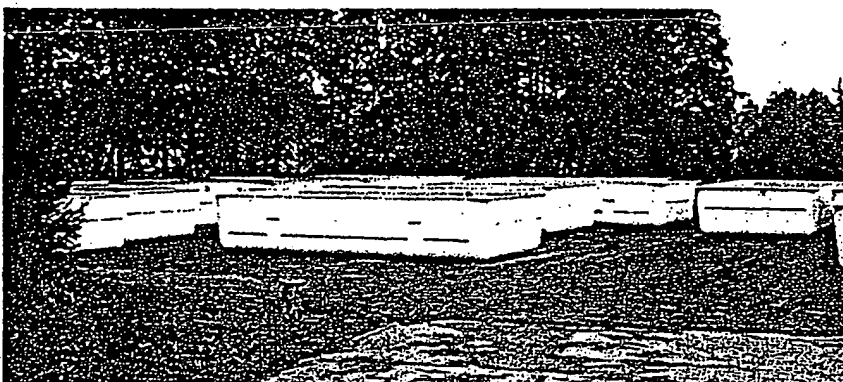
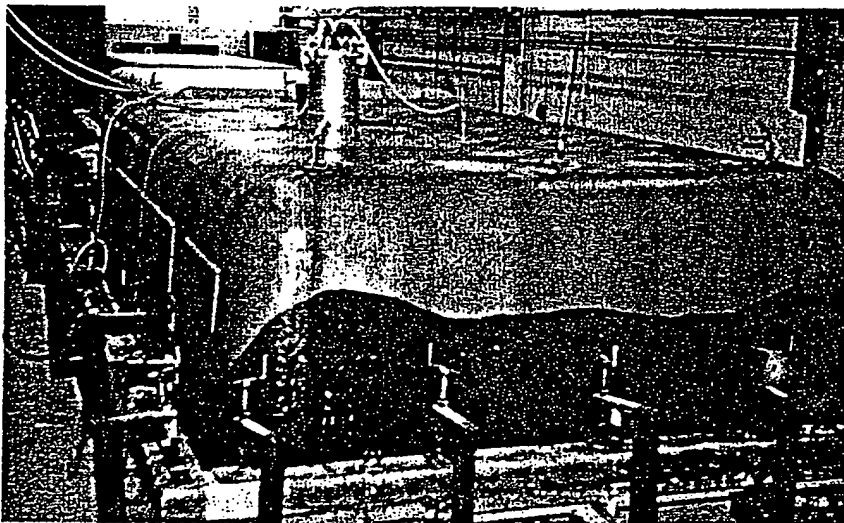
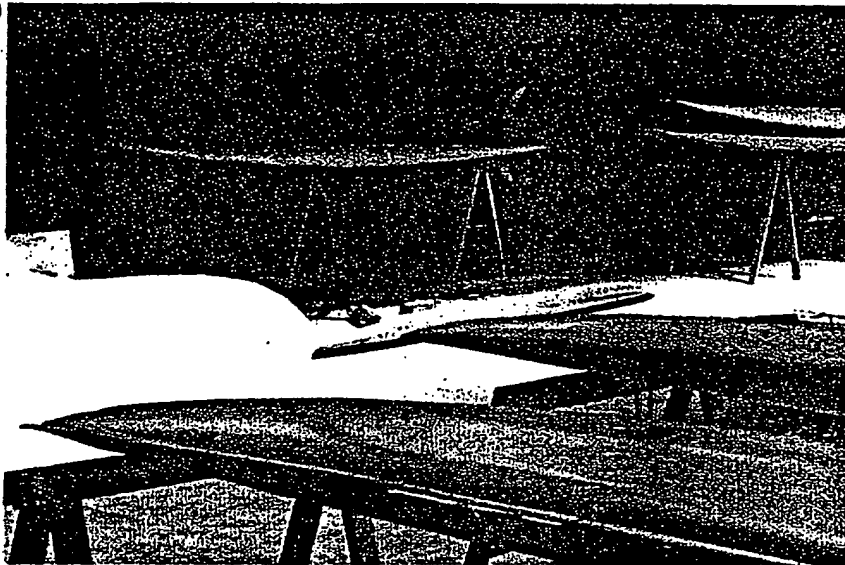
9.3 Motorkreuzer

Bedingt durch die Großflächigkeit der Formteile sowie die Arbeitsplatz- und Umweltprobleme fand das Vakuum-Injektions-Verfahren in den letzten Jahren ein verstärktes Interesse der Bootshersteller, insbesondere einiger großer Bootswerften im skandinavischen Raum.

Bei diesem Motorkreuzer (*Abbildung 16*) lagen die Probleme hauptsächlich im Bereich des Spantenknicks, wo bei einer Laminatstärke von 15–20 mm Formteiltradien von 2,5–3 mm gefertigt werden mußten. Die Problemlösung konnte nur durch zusätzliches Einlegen von Textilglasstreifen erreicht werden (*Abbildung 17*).

Bei Formteilen dieser Größenordnung kann ein Zusammenpressen der beiden Formhälften bis auf die Moosgummidichtungen nur mechanisch erfolgen (*Abbildung 18*). Das endgültige Schließen der Form geschieht dann über den Vakuum-Schließkanal, über den bei diesem Bootsrumpf durch das angelegte Vakuum eine Schließkraft von ca. 10 Tonnen erreicht wird. Die Injektion des Harzes geschieht in bekannter Weise. Der Tränkvorgang für diesen Bootsrumpf dauert ca. 85 Minuten, die Härtingszeit bis zur Entformung ca. 8–10 Stunden. Dieser Zeitraum ergibt sich durch eine





spezielle Aushärtungsrezeptur, die die Temperaturspitze im Laminat, selbst bei 26 mm Laminatstärke, nicht über 50 °C kommen läßt. Hierdurch wird eine spannungsfreie Aushärtung mit absolut schrumpfmärkierungsfreier Oberfläche erreicht.

9.4 Wohnwagen

Interessant von der Konstruktion und Ausführung her ist der in *Abbildung 19* vorgestellte Wohnwagen, bei dem unseres Wissens erstmals das gesamte Fahrgestell in die GFK-Bodengruppe integriert wurde. Hierdurch ergaben sich für die Gesamtkonstruktion von der Statik her Vorteile; außerdem konnten durch diese Maßnahme Korrosionsprobleme im Fahrgestellbereich gelöst werden.

Insgesamt besteht der Wohnwagen aus acht verschiedenen Elementen, die sich aufgrund ihrer Konstruktion ohne großen Aufwand zusammenfügen lassen.

9.5 Nahtlose Surfbretter

In den letzten Jahren kam mit dem Windsurfing eine neue Sportart aus den USA nach Europa. Die Surfbretter wurden nach verschiedenen Methoden gefertigt. Bei den GFK-Produkten gab es jedoch Probleme bei der Verklebung beider Schalen. Durch das Vakuum-Injektions-Verfahren wurde es möglich, dieses Sportgerät ohne Naht zu fertigen und damit diesen Problembereich zu umgehen (*Abbildung 20*).

9.6 Schwimmbecken

Zum Schluß dieses Anwendungskaleidoskopes noch einmal ein Beispiel aus der „ersten Stunde“ des Vakuum-Injektions-Verfahrens. Zur Verdeutlichung des Harzflusses wurde bei der Fertigung dieses Schwimmbeckens (*Abbildung 21*) ausnahmsweise mit einem schwarz eingefärbten Kunstharz gearbeitet. Es ist sehr deutlich erkennbar, wie gleichmäßig die Tränkung vor sich geht.

Der Hersteller des Schwimmbeckens produziert inzwischen in Serie (*Abbildung 22*). Die Becken zeichnen sich trotz ihrer Größe (ca. 70 m² Oberfläche) durch eine gleichmäßige und luftblasenfreie Beschaffenheit aus.

